

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-120416

(43)公開日 平成6年(1994)4月28日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 25/04

25/18

H 0 3 B 5/30

A 8321-5 J

H 0 3 H 3/08

7259-5 J

H 0 1 L 25/ 04

Z

審査請求 有 請求項の数11(全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平4-266158

(22)出願日

平成4年(1992)10月5日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 江田 和生

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 田口 豊

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 金星 章大

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 武田 元敏

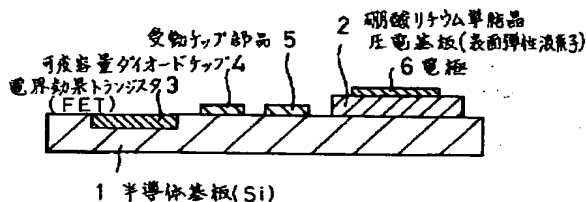
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電子音響集積回路とその製造方法

(57)【要約】

【目的】 小型、軽量、高性能、量産性に優れた各種高周波装置、例えば電圧制御発振器や、高周波受信装置などに適した硼酸リチウム基板を用いた表面弾性波素子やバルク型振動素子などの電気音響素子を半導体基板に集積化した電子音響集積回路の構成とその製造方法を提供することである。

【構成】 半導体基板1上に、硼酸リチウム単結晶圧電基板からなる表面弾性波素子2やバルク型振動素子そのものを、直接または珪素または珪素化合物によって接合し、半導体基板1上に一体に集積化するようにしたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板に硼酸リチウム単結晶圧電基板が直接接合されており、前記硼酸リチウム単結晶圧電基板に表面弾性波素子を有することを特徴とする電子音響集積回路。

【請求項2】 半導体基板に硼酸リチウム単結晶圧電基板が直接接合されており、前記硼酸リチウム単結晶圧電基板にバルク型振動素子を有することを特徴とする電子音響集積回路。

【請求項3】 半導体基板に硼酸リチウム単結晶圧電基板が、珪素または珪素化合物によって直接接合されており、前記硼酸リチウム単結晶圧電基板に表面弾性波素子を有することを特徴とする電子音響集積回路。

【請求項4】 半導体基板に硼酸リチウム単結晶圧電基板が、珪素または珪素化合物によって直接接合されており、前記硼酸リチウム単結晶圧電基板にバルク型振動素子を有することを特徴とする電子音響集積回路。

【請求項5】 半導体基板がシリコン(Si)基板であることを特徴とする請求項3または4記載の電子音響集積回路。

【請求項6】 半導体基板がIII-V化合物半導体基板であることを特徴とする請求項3または4記載の電子音響集積回路。

【請求項7】 III-V化合物半導体としてGaAsを用いたことを特徴とする請求項6記載の電子音響集積回路。

【請求項8】 電子音響集積回路が電圧制御発振器であることを特徴とする請求項1, 2, 3または4記載の電子音響集積回路。

【請求項9】 珪素が非晶質であることを特徴とする請求項3または4記載の電子音響集積回路。

【請求項10】 珪素化合物が酸化珪素であることを特徴とする請求項3または4記載の電子音響集積回路。

【請求項11】 半導体基板と硼酸リチウム単結晶圧電基板を直接接合した後、低温で熱処理を行い、その後弱酸性液体によるエッチングによって、硼酸リチウム単結晶圧電基板を島状に分離加工し、その後前記低温熱処理温度よりも高温で熱処理を行ったことを特徴とする請求項1, 2, 3または4記載の電子音響集積回路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体素子と表面弾性波素子やバルク型振動素子などの電気音響素子を一体に集積した電子音響集積回路の構成とその製造方法に関するもので、特に電圧制御発振器などの高周波装置の小型化、軽量化、高性能化、製造の容易さを目的とするものである。

【0002】

【従来の技術】従来、電気音響素子、例えばニオブ酸リ

チウム(LiNbO₃)またはタンタル酸リチウム(LiTaO₃)などを用いた表面弾性波素子(フィルタや共振器等)や、水晶などのバルク型振動素子を用いた電子回路、例えば電圧制御発振器(VCO)や高周波受信装置などは、発振や増幅のための能動素子としてのトランジスタ、および希望の周波数で発振ないしは共振させるための表面弾性波素子やバルク型振動素子、および若干のコンデンサや抵抗などの電気部品などにより構成される。

【0003】ここに用いられる表面弾性波素子やバルク型振動素子は、その振動あるいは共振周波数として、所定の値を持ち、その性能が十分長期間安定であるように、金属容器などの容器に密封されている。そのため表面弾性波素子やバルク型振動素子の形状寸法が振動ないしは共振部分そのものの大きさの数倍になり、自動車電話、携帯電話など小型であることが極めて重要な装置においては、その小型化が極めて重要な課題となっている。

【0004】小型化を図るためには、トランジスタなどを有する半導体素子と電気音響素子を集積化することが望ましい。このような例として、例えばSi基板上に圧電体である窒化アルミニウム(AlN)膜をエピタキシャル成長させ、そこに表面弾性波(SAW)デバイスを形成したことが報告されている。良好な振動または共振特性を得るためには、エピタキシャル成長ないしは特定の結晶軸方向に配向した膜が必要である。しかしながらエピタキシャル成長や配向できる膜は、AlNや酸化亜鉛(ZnO)などの一部の材料に制約されている。

【0005】またバルク型振動素子の場合、例えば水晶振動子では、自動車電話、携帯電話などで用いられる80MHzから1.9GHzといった準マイクロ波帯で使用できる高周波の振動子を得るためには、水晶振動子の厚みを研磨あるいはエッチングにより薄板化することが必要である。例えば、精密研磨技術により厚み10μm程度まで水晶を研磨し、数百MHzで発振したことが報告されている。

【0006】しかし、10μm以下に水晶素板を薄く加工して振動子として用いるのは、保持や取り扱い上の機械的強度の問題から、量産まで考えると極めて困難な状況にある。したがって、実質的に水晶振動子の基本振動モードを使用して、500MHzを越えるような高周波の電圧制御発振器を得ることは極めて困難であった。高次の振動モードを用いると、共振のQが低下するため、高性能で安定な発振器を得るのはやはり困難であった。

【0007】電圧制御発振器の小型・軽量化と、発振周波数の高周波化を同時に達成する方法の一つとして、例えば、Grudkowski らによる、"Fundamental-mode VHF/UHF Miniature Acoustic Resonators and Filters on Silicon Applied Physics Letters Vol. 37(11) (1980) pp. 993-995 に、シリコン基板上にZnO薄膜共振子を形成し、準マイクロ波帯の共振子を作成する方法が報告され

ている。この場合、膜厚数 μm の共振子を容易に形成できるため、準マイクロ波帯の共振子を得ることが可能となる。しかし ZnO 薄膜振動素子は共振周波数の温度依存性や共振の Q が水晶などのバルク型振動素子に比べて劣るため、性能的に十分なものでない。

【0008】これらの課題を解決する方法として、半導体基板に表面弾性波共振素子として優れた性質を示すニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウム、あるいはバルク型振動素子として優れた性質を示す水晶を接合し、エッチングなどの加工によって、集積化および圧電体の薄板化および量産化を図る方法がある。しかしニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウム、また水晶は、化学的にかなり安定な物質であるため、エッチング可能な物質の種類が非常に限定される。具体的には弗酸を主成分とする強酸性のエッチング液が用いられる。

【0009】さらに弗酸系エッチング液を用いてもエッチング速度は遅いため、エッチングすべき深さが深い場合、エッチング時間として数時間を必要とする。弗酸系エッチング液は半導体基板を極めて容易に侵食するため、エッチング時に半導体基板の所定の部所を保護膜で覆う必要がある。しかしながら弗酸系エッチング液に長時間安定でかつ微細加工の可能な保護膜として有効なものがなく、前記圧電体のエッチング加工は、特に精密な形状加工を行おうとする場合、製造歩留まりおよび製造時間の面から生産が容易でないという課題がある。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く、容器に収納した表面弾性波素子やバルク型振動素子とトランジスタおよび関連部品を個別に基板上に接続する方法で構成した高周波装置では、大きくかつ重くなるため、自動車電話、携帯電話など小型、軽量を最も重要な要素とする装置においては好ましくない。また圧電特性に優れたニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウム、水晶を基板に接合して、エッチングにより形状加工する方法の場合、前記材料が化学的に安定なため、基板材料の選択に制限が加わる、エッチング時の保護膜作成が難しい、エッチングに時間がかかる、精度の高い微細加工が困難などの種々の製造上の課題があった。

【0011】本発明は上記従来の問題を解決し、特に電圧制御発振器などの高周波装置の小型・軽量化、製造の容易を目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を解決するため、半導体基板上に、硼酸リチウム単結晶圧電基板からなる表面弾性波素子やバルク型振動素子を、直接または珪素または珪素化合物によって接合し、半導体基板上に一体に集積化するようにして電子音響集積回路を構成し、硼酸リチウム単結晶圧電基板の形状加工を弱酸性エッチング液で行うようにしたものである。

【0013】

【作用】上記のような構成および製造方法を用いることにより、小型、軽量、高性能、およびエッチング加工が極めて容易で、製造の容易な電子音響集積回路が得られる。

【0014】

【実施例】以下本発明の各実施例の電子音響集積回路、特に電圧制御発振器に適用した場合の構成とその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0015】（実施例1）図1は本発明の第1の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式断面図であり、図1において、1は半導体基板で、この場合シリコン（Si）基板で構成される。2はSi基板1の上に接合された硼酸リチウム単結晶圧電基板（以下、単に硼酸リチウム基板という）で表面に表面弾性波素子を有し、この場合には表面弾性波共振子が形成されている。3はSi基板1上に形成された電界効果トランジスタ（FET）、4は電圧により静電容量の変化する可変容量ダイオードチップ、5はコンデンサやインダクタ、抵抗などの受動チップ部品、6は表面弾性波共振子の電極であり、図では表示されていないが、Si基板1上の各部品と表面弾性波共振子の電極とは電圧制御発振器になるように配線接続されている。

【0016】また、硼酸リチウム基板2とSi基板1は直接接合されている。さらに、このように一体に集積化された電圧制御発振器を密封容器に収納する。電界効果トランジスタ3と可変容量ダイオード4と各種受動チップ部品5ならびに表面弾性波共振子（硼酸リチウム基板2）により発振器が構成され、可変容量ダイオードチップ4に加わる電圧を変えることにより、静電容量を変え、発振周波数を変えることができる。

【0017】このような構成とすることにより、発振回路部と表面弾性波共振子を一体として集積化しているため、従来よりも大幅な小型化が可能となる。また、表面弾性波共振子を容器に密閉したものを個別につけたものに比べ、体積で約1/10、重量で約1/5にすることは容易である。

【0018】本実施例では、可変容量ダイオード4と各種受動チップ部品5をSi基板1上に個別に実装しているが、半導体基板に同時に作り込むことも可能である。

【0019】半導体基板と電気音響素子との接合を一般の樹脂などの接着剤を用いて行くと、耐熱性の面から、その後は半導体プロセスが行えない、高温まで使用できないなどの問題点があるが、本実施例を用いれば、Si基板1と硼酸リチウム基板2は直接接合されたものである。したがって界面に他の物質が介在せず、そのような問題が大幅に改善される。

【0020】また樹脂などの接着剤を用いて接着すると、Si基板1とその上に貼り付けた硼酸リチウム基板2の平行度が悪くなり、その後に硼酸リチウム基板上に、ホトリソグラフィーで形成する表面弾性波素子用の

櫛型電極の寸法精度が悪くなる。例えば、共振周波数が1GHz程度になると、電極寸法は約1 μ mのラインおよびスペース幅となる。したがって平行度が悪いと、準マイクロ波帯の表面弾性波共振子を形成することはできない。しかし本実施例の方法では、直接接合しているため、それぞれの基板の表面形状の精度で決まることになるが、これはいずれも単結晶であることから極めて高精度で加工することができる。この効果は特に高周波で大きい。

【0021】また樹脂の接着剤を用いた場合、熱に弱い問題や、熱膨張係数が有機物である樹脂と無機のSi基板や硼酸リチウム基板とで大きく異なることによる、機械的歪による長期信頼性の問題などがあったが、本実施例のように、無機材料で接着することにより、そのような問題も解決される。

【0022】また硼酸リチウム基板のエッチング加工は弱酸性エッチング液で行うことができるため、生産が極めて容易である。

【0023】硼酸リチウムは、電気機械結合係数が水晶よりも大きく、温度依存性は水晶とほぼ同じ程度に良好で、室温周辺ではほぼ温度依存性0の条件があり、表面弾性波素子として用いた場合、極めて優れた性能を示す。したがって薄膜で集積化したものよりも共振子、発振子としてより優れた性能を示す。

【0024】(実施例2)図2は本発明の第2の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式図であり、図2において、前記図1と同じ各構成要素1～6には同じ符号を付し、その機能は実施例1と同様である。7はSi基板1および硼酸リチウム基板2の接合に用いられた珪素または酸化珪素などの珪素化合物膜で、これによりSi基板1と硼酸リチウム基板2は直接接合されている。それ以外の構成は前記実施例1と同様であり、電圧制御発振器を形成した場合の小型・軽量化の効果も同様である。

【0025】また本実施例では、Si基板1と硼酸リチウム基板2の接合を珪素または酸化珪素などの珪素化合物膜7で行っているが、耐熱性の効果は、珪素または酸化珪素などの珪素化合物が無機物で、高温まで熱的に安定であることから、実施例1と同様の効果が得られる。また基板加工のための平行度の問題も、珪素や酸化珪素など珪素化合物膜7の形成は一般にnmの程度で制御できるため、実施例1と同様解決される。また硼酸リチウム基板を用いているため、エッチングによる形状の微細加工の容易さも実施例1と同様である。

【0026】(実施例3)図1に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第1の実施例を以下説明する。

【0027】まず、図1に示すところの半導体基板であるSi基板1と硼酸リチウム基板2の表面を極めて清浄にした後、それぞれの表面を親水処理する。具体的には、Si基板表面は弗酸系エッチング液で、硼酸リチウム基板表面は、非常に希釈したパフファード弗酸系エ

ッチング液で軽く表面のエッチング処理を行う。

【0028】次に純水で十分洗浄し、すぐに一様に重ね合わせると、それぞれの基板表面に吸着した水の構成成分、例えば水酸基によって、容易に直接接合が得られる。この状態で100から300℃の低温で熱処理を行う。この低温熱処理により接合の強度が強まる。

【0029】次に弱酸性エッチング液、例えば酢酸を純水で希釈したエッチング液を用い、硼酸リチウム基板2の必要部分、すなわち表面弾性波共振子を形成する部分(図面で右側)のみを残して他の部品はエッチング除去する。硼酸リチウムは弱酸性溶液で極めて容易にエッチングされるため、硼酸リチウム基板2の厚みが通常のウェーハとしての標準的厚み、例えば400 μ m程度であっても極めて容易にエッチングすることができる。例えば、酢酸を希釈したエッチング液を用いた場合のエッチング速度は、pH4.5程度で10 μ m/h、pH3程度で100 μ m/h程度であり、十分な速度を有している。また酢酸のような弱酸エッチング液ではSi基板表面はほとんどエッチングされないため、Si基板表面が損傷を受けることもない。これにより、硼酸リチウム基板2を島状、例えば2 \times 1.5mm角の矩形に加工する。

【0030】次にこの状態で、必要に応じ更に最初の熱処理温度よりも高い温度で熱処理を行うと、その接合は更に強化される。熱処理温度が高い場合、Si基板1と硼酸リチウム基板2の熱膨張率の差があるため、形状、寸法などに多少の制約が加えられる。そのため大きいウェーハでは高温の熱処理が困難であるが、本実施例のように小さい島状に形状加工しておくことで高温での熱処理が可能で、接合強度、耐熱性ともに向上し、その後的高温プロセス処理が可能となる。

【0031】また接合ムラなども小面積の方が発生しにくいので製造歩留まりが向上する。この後電界効果トランジスタ3などの形成に必要な各種プロセス処理や配線に必要な各種電極形成などを実施し、前記実施例1(図1)で説明した素子の構成の電圧制御発振器が得られる。

【0032】また、電極6はアルミニウムやクロムを下地にした金などが用いられる。接合強化の熱処理効果は、例えば、200℃で、1時間程度保持するだけでも接合強度は数倍に上がり、数十kg/cm²の強度が得られる。実質的には100℃以上で効果がある。800℃以上に温度を上げると、硼酸リチウム基板表面からリチウムが抜けていくため表面の特性劣化が大きく表面弾性波共振子としての性能が劣化するので、接合熱処理温度は800℃以下が好ましい。

【0033】直接接合のメカニズムは、それぞれの基板表面に吸着した水酸基などのファンデアワールス力により初期の接合が起こり、その後熱処理することによって、接合界面から水の構成成分である水素などが抜けていき、Si基板表面の珪素、および硼酸リチウム基板中

の酸素が結合して、接合強度が上がるものと考えられる。また接合部に電圧を加えることによって接合温度を下げることも可能である。

【0034】硼酸リチウムは、エッチングに酢酸などの弱酸を用いても、高速でエッチング可能であるため本実施例の構成の素子の製造に極めて都合が良い。水晶やニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムは100%の弗酸ないしは弗硝酸などの強酸を用いてもそのエッチング速度は1時間あたりでも μm オーダーと極めて遅く、また、これに耐えられる微細加工可能な保護膜に良いものがないとか、エッチング中に半導体基板が先に侵食されるなどの問題があるが、本実施例で用いた酢酸などの弱酸によるエッチングであればそのような問題は一挙に解決される。

【0035】（実施例4）図2に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第2の実施例を以下説明する。

【0036】まず、半導体基板であるSi基板1および硼酸リチウム基板2の基板表面上に化学気相成長法(CVD)などにより珪素化合物膜(酸化珪素膜)7を形成する。膜厚は0.1—3 μm 程度であり、この厚みの実現ならびに均一性の制御はCVDなどの製造方法を用いれば容易である。もちろんスパッタリングや真空蒸着でも可能である。その後、珪素化合物膜表面を親水処理した後、純水で洗浄して、すぐに一様に重ね合わせると、表面に吸着した水の構成成分、例えば水酸基によって、容易に直接接合が得られる。この状態で100から300℃の低温で熱処理を行う。この低温熱処理により接合の強度が強まる。この後、前記実施例3（製造方法の第1の実施例）と同様にして、弱酸性エッチング液によるエッチング形状加工、その後の必要に応じた熱処理、各種プロセス処理を行うことにより前記実施例2（図2）で説明した素子の構成の電圧制御発振器を得る。これにより前記実施例3で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。

【0037】直接接合のメカニズムは、実施例3とほぼ同様で、珪素化合物膜(酸化珪素)表面に吸着した水酸基などのファンデアワールス力により初期の接合が起こり、その後熱処理することによって、接合界面から水の構成成分である水素などが抜けていき、酸化珪素の珪素と酸素、およびSi基板表面の珪素、および硼酸リチウム基板中の酸素が結合して、接合強度が上がるものと考えられる。したがってこの場合、一方の基板、例えば硼酸リチウム基板の表面にのみ、あるいはSi基板表面にのみ非晶質珪素膜を形成した場合でも、直接接合は可能である。また接合部に電圧を加えることによって接合温度を下げることも可能である。

【0038】（実施例5）図2に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第3の実施例を以下説明する。

【0039】前記実施例4（製造方法の第2の実施例）と同様にして、半導体基板としてのSi基板1および硼

リチウム基板2の表面に、非晶質珪素の珪素化合物膜7を、プラズマCVDなどにより形成する。形成する非晶質珪素の珪素化合物膜厚は、実施例4の場合とほぼ同様、0.1—3 μm 程度である。その後、実施例4と同様に、非晶質珪素の珪素化合物膜表面を極めて清浄にし、純水で十分洗浄して、すぐに一様に重ね合わせることににより、表面に吸着した水の構成成分、例えば水酸基によって容易に直接接合が得られる。この状態で100から300℃の低温で熱処理を行う。この低温熱処理により接合の強度が強まる。この後、実施例3（製造方法の第1の実施例）と同様にして、弱酸性エッチング液によるエッチング形状加工、その後の必要に応じた熱処理、各種プロセス処理を行うことにより実施例2（図2）で説明した素子の構成の電圧制御発振器を得る。これにより前記実施例3で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。本実施例においても接合部に電圧を加えることによって接合温度を下げることも可能である。

【0040】直接接合のメカニズムは、実施例3とほぼ同様で、非晶質珪素の珪素化合物膜表面に吸着した水酸基などのファンデアワールス力により初期の接合が起こり、その後熱処理することによって、接合界面から水の構成成分である水素などが抜けていき、非晶質珪素中の珪素と表面の酸素、およびSi基板表面の珪素、および硼酸リチウム基板中の酸素が結合して、接合強度が上がるものと考えられる。したがってこの場合も実施例4と同様、一方の基板、例えば硼酸リチウム基板の表面にのみ、あるいはSi基板表面にのみ非晶質珪素の珪素化合物膜を形成した場合でも、直接接合は可能である。また接合部に電圧を加えることによって接合温度を下げることも可能である。

【0041】（実施例6）図3は本発明の電圧制御発振器の構成を示す第3の実施例の模式断面図である。図3において、1は半導体基板であるSi基板、11はSi基板1の上に接合された硼酸リチウムバルク型振動素子、その他図1と同じ各構成要素3～5には同じ符号を付し、その機能は実施例1と同様である。12は硼酸リチウムバルク型振動素子の上電極、13は同下電極であり、下電極13とSi基板1上の配線とは、図では表示されていないが、パイアホール(基板に貫通孔を設け、その内部を導体で被い、基板の上下を電気的に接続したもの)などで接続されている。

【0042】さらにSi基板1上の各部品と硼酸リチウムバルク型振動素子11の上下電極12、13とは、図ではやはり表示されていないが、電圧制御発振器になるように配線接続されている。Si基板1と硼酸リチウムバルク型振動素子11は直接接合されている。さらに、このように一体に集積化された電圧制御発振器を密封容器に収納する。電界効界トランジスタ3と可変容量ダイオード4や各種受動チップ部品5ならびに硼酸リチウムバルク型振動素子11により発振器が構成されている。

【0043】ここで、可変容量ダイオード4に加わる電圧を変えることにより、静電容量を変え、発振周波数を変えることができる。このような構造とすることにより、発振回路部と水晶振動子を一体として集積化しているため、従来よりも大幅な小型化が可能となる。また、硼酸リチウムバルク型振動素子11を容器に密閉したものを個別につけたものに比べ、体積で約1/10、重量で約1/5にすることは容易である。

【0044】本実施例では、接合をSi基板と硼酸リチウム基板の直接接合で行っており、耐熱性、耐環境性、微細加工性などすべて前記実施例1で述べたと同じ効果が得られるものである。

【0045】また、硼酸リチウムは、水晶よりも電気機械結合係数が大きく、かつ温度依存性は水晶と同程度に良好であることから、薄膜でバルク型振動素子を形成したもののよりもはるかに優れた性能が得られる。

【0046】（実施例7）図4は本発明の電圧制御発振器の構成を示す第4の実施例の模式断面図である。図4において、7を除く各構成素子1～5、11～13は前記図3に示す実施例6と同様である。7はSi基板1と硼酸リチウム基板に有するバルク型振動素子11の接合に用いられた珪素または酸化珪素などの珪素化合物膜で、これによりSi基板1と硼酸リチウムバルク型振動素子11は直接接合されている。それ以外の構成は実施例6（図3）と同様であり、電圧制御発振器を形成した場合の小型軽量化の効果も同様である。

【0047】また本実施例では、Si基板と硼酸リチウムバルク型振動素子11の接合を珪素または酸化珪素などの珪素化合物膜7で行っているが、耐熱性の効果は、珪素または酸化珪素などの珪素化合物が無機物で、高温まで熱的に安定であることから、実施例1（図1）と同様の効果が得られる。また基板加工のための平行度の問題も、珪素や酸化珪素などの珪素化合物膜の形成は一般にnmの程度で制御できるため、実施例1と同様解決される。また硼酸リチウム基板を用いているため、エッチングによる形状の微細加工の容易さも実施例1と同様である。

【0048】（実施例8）図3で示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第4の実施例を以下説明する。

【0049】硼酸リチウムバルク型振動素子11を形成すべき部所の半導体基板であるSi基板1に貫通部1aを予め形成しておく。次にSi基板1と硼酸リチウム基板となるバルク型振動素子11の表面を極めて清浄にし、それぞれの表面を親水処理する。具体的には、Si基板表面は弗酸系エッチング液で、硼酸リチウム基板（硼酸リチウムバルク型振動素子11）表面は、非常に希釈したバッファード弗酸系エッチング液で軽く表面のエッチング処理を行う。

【0050】次に純水で十分洗浄し、すぐに一様に重ね合わせると、それぞれの基板表面に吸着した水の構成成分、例えば水酸基によって容易に直接接合が得られる。

この状態で100から300℃の低温で熱処理を行う。この低温熱処理により接合の強度が強まる。次に弱酸性エッチング液、例えば酢酸を純水で希釈したエッチング液を用い、硼酸リチウム基板の必要部分、すなわちバルク型振動素子11を形成する部分で、これは予めSi基板に貫通部1aを設けた部分に対応するが、ここの必要部分のみを残して他の部分はエッチング除去する。

【0051】硼酸リチウムは弱酸性溶液で極めて容易にエッチングされるため、硼酸リチウム基板の厚みが通常のウェーハの厚み、500μm程度あっても極めて容易にエッチングすることができる。またこのようなエッチング液ではSi基板表面はほとんどエッチングされないの、Si基板が損傷を受けることもない。これにより硼酸リチウム基板を島状、例えば1.5×1mm角の矩形に加工する。この状態で、必要に応じて更に、最初の熱処理温度よりも高い温度で熱処理を行うと、この接合は更に強化される。熱処理温度が高い場合、Si基板と硼酸リチウム基板の熱膨張率に差があるため、形状、寸法などに多少の制約が加えられる。

【0052】そのため大きいウェーハでは高温の熱処理が困難であるが、本実施例のように小さい島状に形状加工しておくことで容易に高温での熱処理が可能で、接合強度、耐熱性ともに向上し、その後の高温プロセス処理が可能となる。また接合ムラなども小面積の方が発生しにくいいため製造歩留まりが向上する。

【0053】さらにこの後、矩形状に残した硼酸リチウム基板の薄板化処理を行う。エッチング液は先ほどの弱酸性エッチング液を用いる。弱酸性エッチング液ではSi基板表面はほとんど損傷を受けないので、とくにSi基板部に保護膜の形成を必要としない。またエッチング速度は十分速いので、厚みを5μm以下にエッチング加工することは容易である。これにより硼酸リチウム基板を薄板化する。この後トランジスタなどの形成に必要な各種プロセス処理や配線に必要な各種電極形成などを実施する。

【0054】バルク型振動素子11の部分には上下には電極12、13を形成する。この部分はSi基板貫通部1aに形成されているのでバルク振動が可能となる。効果的に振動が起こるように、電極によるエネルギー閉じこめ構造にしたり、振動部のみをさらにエッチングにより形状加工することによって、形状的にエネルギー閉じこめを行ったり、Si基板との接合部の形状をできるだけ応力の入らないような形にすることにより、バルク型振動に悪影響がでないような処理を行う。下電極13は、ピアホールなどによって半導体基板上面に導かれ電氣的に接続される。これにより前記実施例6（図3）で説明した素子の構成の電圧制御発振器が得られる。

【0055】また、電極12、13はアルミニウムやクロムを下地にした金などが用いられる。接合強化の熱処理効果は、例えば、200℃で、1時間程度保持するだけでも

接合強度は数倍に上がり、数十kg/cm²の強度が得られる。実質的には100℃以上で効果がある。800℃以上に温度を上げると、硼酸リチウム基板表面からリチウムが抜けていくため表面の特性劣化が大きく振動子としての性能が劣化するので、接合熱処理温度は800℃以下が好ましい。

【0056】直接接合のメカニズムは、実施例1(図1)と同様であり、効果も同様の効果が得られる。本実施例の場合には、厚み5μm以下のバルク型振動素子が容易に作成できるという製造上の効果も得られる。これによりGHz帯の超高周波振動素子を得ることができる。

【0057】(実施例9)図2に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第5の実施例を以下説明する。

【0058】実施例4(製造方法の第2の実施例)と同様にして、半導体基板としてのSi基板表面および硼酸リチウム基板表面に、酸化珪素膜を、CVDなどにより形成し、酸化珪素によるSi基板と硼酸リチウム基板の接合膜を形成する。その後は実施例8(製造方法の第4の実施例)と同様にして、Si基板上に薄板の硼酸リチウムバルク型振動素子を酸化珪素により接合した実施例4の図2に示した構成の電圧制御発振器を得る。これにより実施例8で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。

【0059】(実施例10)図2に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第6の実施例を以下説明する。

【0060】実施例5(製造方法の第3の実施例)と同様にして、半導体基板としてのSi基板表面および硼酸リチウム基板表面に、非晶質珪素の珪素化合物膜7を、プラズマCVDなどにより形成し、非晶質珪素によるSi基板と硼酸リチウム基板の接合膜を形成する。その後、実施例8(製造方法の第4の実施例)と同様にして、Si基板上に薄板の硼酸リチウムバルク型振動素子11を非晶質珪素により接合した実施例4の図2に示した構成の電圧制御発振器を得る。これにより実施例8で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。

【0061】(実施例11)図5は本発明の電圧制御発振器の構成を示す第5の実施例の模式断面図である。図5において、14はIII-V化合物半導体基板であるGaAs基板、2はGaAs基板14の上に接合された硼酸リチウム基板であって表面弾性波素子を有し、この場合には表面弾性波共振子が形成されている。その他7を除く各構成要素3~6は、前記実施例1(図1)と同様である。7はGaAs基板14と硼酸リチウム基板2を接合している珪素または珪素化合物膜である。回路構成は実施例1と同様で、電圧制御発振器になるように配線接続されている。このように一体に集積化された電圧制御発振器を密封容器に収納することにより、実施例1と同様、小型・軽量化面で実施例1と同様の効果が得られる。

【0062】本実施例では、GaAs基板と硼酸リチウム基板の接合を珪素または珪素化合物膜で行っており、耐

熱性、耐環境性、微細加工性などすべて実施例1で述べたと同じ効果が得られるものである。

【0063】GaAs, InP, InGaAsなどのIII-V化合物半導体は一般にSiより電子移動度が大きい。GaAsの場合、Siよりも約6倍電子移動度が大きい。そのためIII-V化合物半導体を用いれば、一般に高速のトランジスタの形成が可能である。トランジスタとして数十Hzで動作するものをつくるのが容易であり、Si基板に集積したものよりもより高周波での動作が可能となる。

【0064】(実施例12)図6は本発明の電圧制御発振器の構成を示す第6の実施例の模式断面図である。図6において、各構成要素は前記実施例7(図4)および実施例11(図5)と同様である。すなわちこの構成は、実施例7において半導体基板にSi基板1のかわりにIII-V化合物半導体であるGaAs基板14を用いた点が異なるだけであり、その機能、効果は実施例7および実施例11とほぼ同様である。すなわち実施例7よりもさらに高周波での動作に適している。

【0065】(実施例13)図5に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第7の実施例を以下説明する。

【0066】実施例4(製造方法の第2の実施例)と同様にして、III-V化合物半導体基板としてのGaAs基板14および硼酸リチウム基板2の各表面に、珪素化合物膜(酸化珪素膜)7を、CVDなどにより形成し、酸化珪素によるGaAs基板14と硼酸リチウム基板2の接合膜を形成する。その後は実施例4と同様にして、GaAs基板上に硼酸リチウム表面弾性波素子を酸化珪素により接合した実施例11(図5)の構成の電圧制御発振器を得る。これにより実施例4で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。

【0067】直接接合のメカニズムは、実施例4とほぼ同様であり、したがって、両基板表面に酸化珪素膜を形成するか、あるいはGaAs基板表面にのみに酸化珪素膜を形成した場合でも、直接接合は可能である。

【0068】(実施例14)図5に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第8の実施例を以下説明する。

【0069】前記実施例13と同様にして、III-V化合物半導体基板としてのGaAs基板14および硼酸リチウム基板2の表面に、非晶質珪素の珪素化合物膜7を、プラズマCVDなどにより形成し、非晶質珪素によるGaAs基板と硼酸リチウム基板の接合膜を形成する。その後、実施例5(製造方法の第3の実施例)と同様にして、GaAs基板上に硼酸リチウム表面弾性波素子を非晶質珪素により接合した実施例11(図5)の構成の電圧制御発振器を得る。これにより実施例5で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。

【0070】直接接合のメカニズムは、実施例5とほぼ同様であり、したがって、両基板表面に非晶質珪素膜を形成するか、あるいはGaAs基板表面にのみに非晶質珪

素膜を形成した場合でも、直接接合は可能である。

【0071】(実施例15) 図6で示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第9の実施例を以下説明する。

【0072】実施例4(製造方法の第2および第5の実施例)と同様にして、III-V化合物半導体基板としてのGaAs基板14および砷酸リチウム基板2の表面に、酸化珪素膜7を、CVDなどにより形成し、酸化珪素によるGaAs基板と砷酸リチウム基板の接合膜を形成する。その後は実施例9と同様にして、GaAs基板上に砷酸リチウムバルク型振動素子を酸化珪素により接合した実施例12(図6)の構成の電圧制御発振器を得る。これにより実施例9で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。

【0073】直接接合のメカニズムは、実施例4とほぼ同様であり、したがって、両基板表面に酸化珪素膜を形成するか、あるいはGaAs基板表面にのみ酸化珪素膜を形成した場合でも、直接接合は可能である。

【0074】(実施例16) 図6に示した本発明の電圧制御発振器の製造方法の第10の実施例を以下説明する。

【0075】実施例5および9(製造方法の第3の実施例および第5の実施例)と同様にして、III-V化合物半導体基板としてのGaAs基板14および砷酸リチウム基板2の各表面に、非晶質珪素の珪素化合物膜を、プラズマCVDなどにより形成し、非晶質珪素によるGaAs基板14と砷酸リチウム基板2の接合膜を形成する。その後、実施例9と同様にして、GaAs基板上に砷酸リチウムバルク型振動素子を非晶質珪素により接合した実施例12(図6)の構成の電圧制御発振器を得る。これにより実施例9で述べたと同様の各種効果、特に製造の容易さの効果が得られる。

【0076】直接接合のメカニズムは、実施例5とほぼ同様であり、したがって、両基板表面に非晶質珪素膜を形成するか、あるいはGaAs基板表面のみに非晶質珪素膜を形成した場合でも、直接接合は可能である。

【0077】珪素化合物として、本実施例ではいずれも酸化珪素の例で示したが、CVDなどで形成した酸化珪素はその酸素含有量が条件によって多少異なる。また窒素も含まれる場合がある。いずれの場合も直接接合が得られる。直接接合の可否は、その物質の結合の性質が関与しており、珪素または酸化珪素のように共有結合的性質を有していれば、ほぼ同様の効果が得られものと思われる。

【0078】また以上説明した各実施例では、いずれも電圧制御発振器の回路例で説明したが、基本的には、電気音響素子と半導体素子からなる電子音響集積回路一般に広く適用できることは明らかである。

【0079】

【発明の効果】以上説明したような本発明の電子音響集積回路とその製造方法は、以下に記載されるような効果を有する。

【0080】いずれの実施例においても、まず第1に、発振や増幅を起こす基本構成要素であるトランジスタと砷酸リチウム表面弾性波素子やバルク型振動素子などの電気音響素子を、一体に集積しているので、電圧制御発振器などの高周波装置を大幅に小型・軽量化する事が可能となり、従来の容器に収納した表面弾性波素子やバルク型振動素子を用いる場合に比べ、容積、重さとも大幅に少なくすることができる。

【0081】本実施例の接合方法は、半導体基板と電気音響素子を直接または膜厚の制御された珪素系無機材料で接合しているので、平面性が極めて良く、振動周波数の設定に必要な、サブミクロンのホトリソグラフィが可能となるとともに、熱や振動などに対する信頼性も大幅に向上するものである。

【0082】本実施例では、電圧制御発振器の構成を示したが、基本的には電気音響素子とトランジスタなどの能動素子を一体に集積できるものであり、電圧制御発振器に限らず、フィルタと増幅器を集積化した高周波受信装置など広く電子音響集積回路一般に適用できるものである。

【0083】また実施例3、8等にしたように、砷酸リチウム基板は酢酸などの弱酸性液体でエッチング形状加工が可能であることから、本実施例で示した接合および低温熱処理-砷酸リチウム基板のエッチング分離-高温熱処理方式の製造方法をとることにより、接合ムラの低減、より大きな半導体基板を用いての製造が可能になるなどから、製造歩留まりの向上など生産面での効果も大きい。

【0084】また、5 μ m以下の薄板を作るような微細加工も容易に行えることから、従来困難であった、準マイクロ波帯(数百MHzから数GHz)での、基本波振動による高周波装置の製造が容易となる。これにより高性能、低価格化が可能となる。

【0085】またIII-V化合物半導体であるGaAs基板上に集積化した場合、シリコントランジスタと集積化した場合よりもトランジスタとしての高周波特性が数倍よくなり、より高周波で動作することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式断面図である。

【図2】本発明の第2の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式断面図である。

【図3】本発明の第3の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式断面図である。

【図4】本発明の第4の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式断面図である。

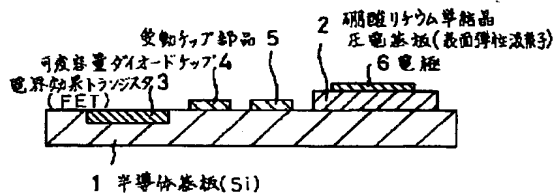
【図5】本発明の第5の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式断面図である。

【図6】本発明の第6の実施例の電圧制御発振器の構成を示す模式断面図である。

【符号の説明】

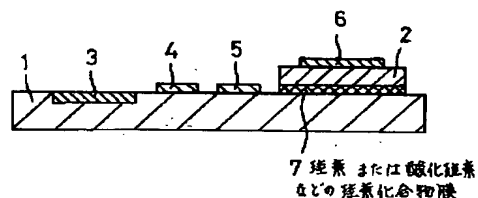
1…半導体(Si)基板、 2…硼酸リチウム単結晶圧電基板(表面弾性波素子)、 3…電界効果トランジスタ(FET)、 4…可変容量ダイオードチップ、 5…受動

【図1】

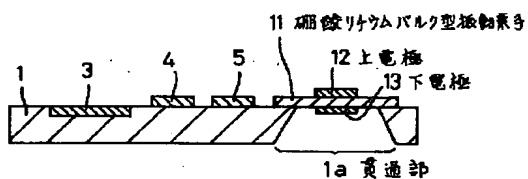


チップ部品、 6…表面弾性波素子の電極、 7…珪素または酸化珪素などの珪素化合物膜、 11…硼酸リチウムバルク型振動素子、 12…上電極、 13…下電極、 14…III-V化合物半導体(GaAs)基板。

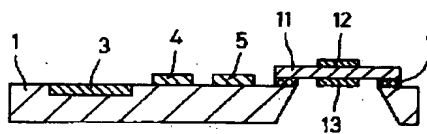
【図2】



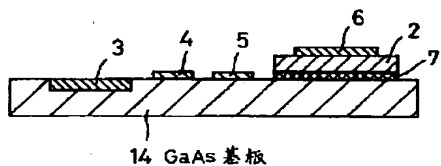
【図3】



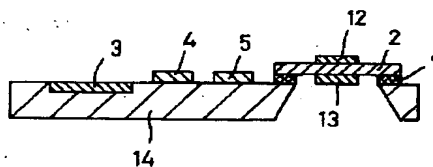
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 5

H 0 3 H 9/25

識別記号

庁内整理番号

C 7259-5 J

F I

技術表示箇所

(72)発明者 小椋 哲義

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内